

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2023.76.32.072

## Актуальность разработки и применения математической модели объектов нефтепереработки на основе графов

**Сологуб Виталий Олегович**

Студент,

Институт нефтепереработки и нефтехимии  
Уфимского государственного нефтяного технического университета,  
453250, Российская Федерация, Салават, ул. Губкина, 22Б;  
e-mail: 690807@mail.ru

**Вильданов Рауф Гибадуллович**

Доктор наук,

профессор, доцент, научный руководитель,  
Институт нефтепереработки и нефтехимии  
Уфимского государственного нефтяного технического университета,  
453250, Российская Федерация, Салават, ул. Губкина, 22Б;  
e-mail: vildanov.rauf@yandex.ru

### Аннотация

На сегодняшний день большое количество исследований направлено на разработку новых и модернизацию действующих объектов нефтеперерабатывающей промышленности. Одним из актуальных способов разработки объектов нефтепереработки в области совершенствования технологии является прогнозирование показателей технологического процесса. В настоящей статье для моделирования ректификационной колонны установки висбрекинга гудрона применен метод графов. Использование разработанных математических моделей технологических процессов позволяет комплексно оценить влияние основных параметров технологического режима.

### Для цитирования в научных исследованиях

Сологуб В.О., Вильданов Р.Г. Актуальность разработки и применения математической модели объектов нефтепереработки на основе графов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 4А. С. 591-597. DOI: 10.34670/AR.2023.76.32.072

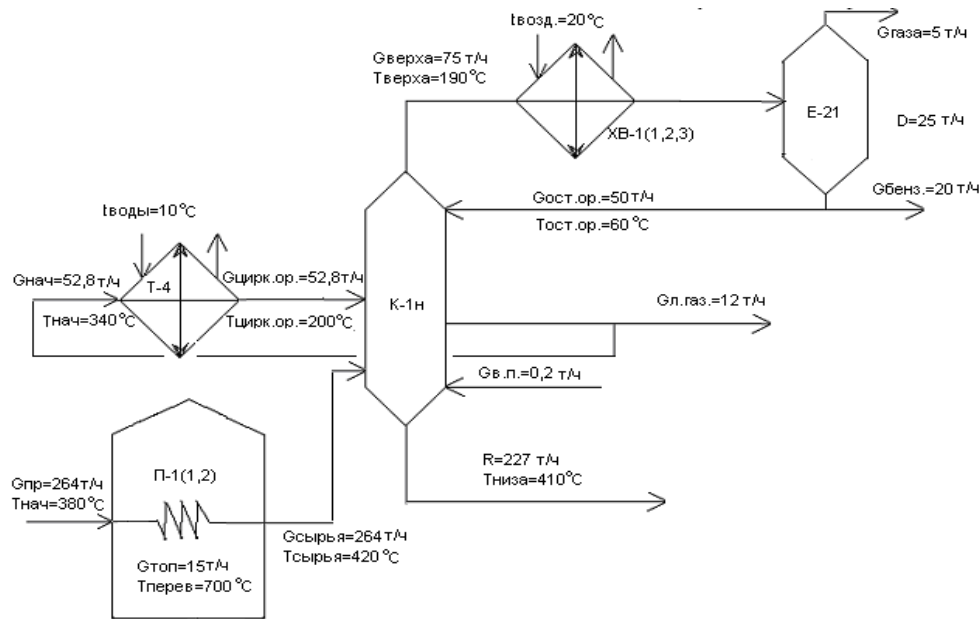
### Ключевые слова

Ректификационная колонна, температура, математическая модель, топологическая модель, граф.

## Введение

Прогнозирование показателей технологического процесса основываются на использовании математических моделей [Пикула, 2010; Тугашова, Затонский, 2019]. Целью исследования является составление математических моделей расчета входных и выходных переменных с применением теории графов [Гинис, 2013; Сафаров, Валеев, Шумаев, 2018].

В работе рассматриваются элементы ректификационной колонны установки висбрекинга гудрона [Joshi et al., 2008; Gary, Handwerk, Kaiser, 2007], которые представлены на рисунке 1 как технологическая модель.



**Рисунок 1 – Технологическая модель ректификационной колонны**

Исходными данными являются следующие показатели:

- расход острого орошения на 26-ю тарелку К-1  $F_{\text{орош.26}}$  равен  $35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- температура острого орошения на 26-ю тарелку К-1  $T_{\text{орош.26}}$  равна  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расход обессоленной и обезвоженной нефти на 24-ю тарелку К-1  $F_{\text{сыр.24}}$  равен  $12 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- температура обессоленной и обезвоженной нефти на 24-ю тарелку К-1  $T_{\text{сыр.24}}$  равна  $89 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расход сырья на 12-ю тарелку К-1  $F_{\text{сыр.12}}$  равен  $458 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- температура сырья, подаваемого на 12-ю тарелку К-1  $T_{\text{сыр.12}}$  равна  $177 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расход сырья на 6-ю тарелку К-1  $F_{\text{орош.6}}$  равен  $86 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- температура сырья, подаваемого на 6-ю тарелку К-1  $T_{\text{сыр.6}}$ , равна  $236 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расход перегретого водяного пара в низ К-1  $F_{\text{в.п.}}$  равен  $1,06 \text{ т/ч}$ ;
- температура перегретого водяного пара в низ К-1  $T_{\text{в.п.}}$  равна  $230 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- отбор (расход) дистиллята с верха К-1  $F_{\text{дист}}$  равен 122 м<sup>3</sup>/ч;
- температура верха К-1  $T_{\text{верх}}$  равна 129 °С;
- расход остатка с низа К-1  $F_{\text{ост}}$  равен 489 м<sup>3</sup>/ч;
- температура низа К-1  $T_{\text{ост}}$  равна 188 °С.

### Основное содержание

Концептуальная модель колонны К-1 представлена на рисунке 2. На данной модели определяются входные и выходные параметры технологического режима ректификационной колонны К-1, выделяются границы системы регулирования.

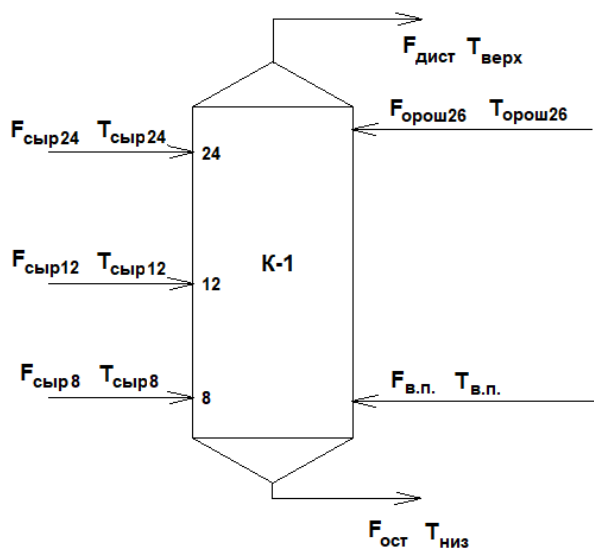


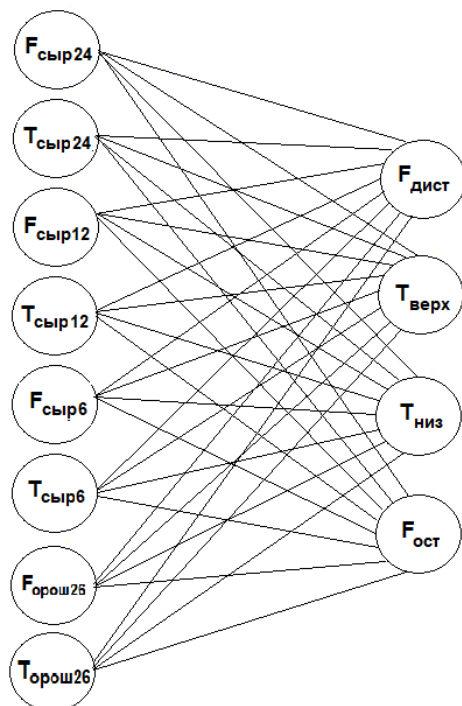
Рисунок 2 – Концептуальная модель ректификационной колонны К-1

Взаимосвязь технологических параметров устанавливается путем применения метода обработки статистических данных – корреляционного анализа [Xu, He, Ai, Qiu, 2015]. Для этого вычисляются коэффициенты корреляции, где следующие диапазоны значений определяют взаимосвязанность технологических параметров:

- 0...0,1 – взаимосвязь отсутствует;
- 0,1...0,9 – взаимосвязь незначительная;
- 0,9...1 – взаимосвязь значительная.

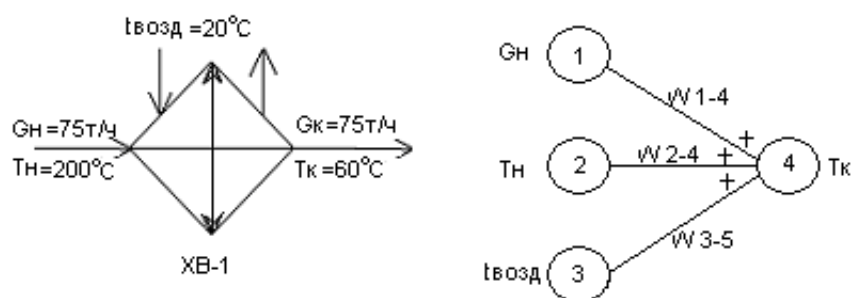
На основе показаний из технологических регламентов предприятий и имеющихся данных об объекте относительно классификационных признаков для моделей элементов и систем возможна разработка математических моделей. Согласно классификации моделирования по уровню определенности информации, требуется представление концептуальной и топологической моделей.

На рисунке 3 представлена топологическая модель ректификационной колонны К-1. В данной структурной связи входные и выходные сигналы имеют полную взаимозависимость.



**Рисунок 3– Топологическая схема модели ректификационной колонны К-1**

Была проведена разработка математической модели холодильника ректификационной колонны установки висбрекинга гудрона. Согласно теории графов на основе топологической модели, составлена структурная модель холодильника, схемы которых представлены на рисунке 4, где  $G_H$  – расход продукта на входе;  $T_H$  – температура продукта на входе;  $t_{возд}$  – температура воздуха;  $G_K$  – расход продукта на выходе;  $T_K$  – температура продукта на выходе.



**Рисунок 4 – Топологическая и структурная схемы холодильника XB-1**

Топологическая модель обладает демонстрацией связи входных, выходных и внутренних переменных системы модели.

Результаты расчета выходных величин отображают значительное влияние входных сигналов на выходные в зависимости от того, в какой части колонных они измеряются. Также установлено, что данные результаты адекватны, поскольку не превышают 10 % от установленных значений.

Учитывая особенности данной модели, считаем, что она актуальна к рассмотрению в прикладной части работы для того, чтобы исследовать характер и степень влияния

метрологических параметров средств измерений, обеспечивающих контроль технологического процесса переработки нефти, на качество продукта.

Элементы ректификационной колонны являются многомерным объектом второго порядка самовыравнивания, о чем свидетельствуют исследования влияния одних параметров на другие. В соответствии с этим, динамика процессов в математическом виде выражается в виде передаточных функций апериодического звена второго порядка [Вильданов, Панфилов, Аслаев, 2015; Вильданов, Назаров, 2022].

Расчет математической модели определения температуры продукта на выходе из холодильника ХВ-1 с использованием исходных данных, приведенных выше, осуществлен с применением метода Симою [Рутковский, Матвеева, Козачек, 2010]. Результат представлен в виде формулы:

$$T_k = 1,24 \frac{2s+4}{16s^2+12s+1} G_u + 0,3 \frac{s+0,4}{22s^2+15s+1} T_u + 0,03 \frac{s+0,8}{27s^2+17s+1} t_{\text{возд}}$$

Где  $T_k$  - температура продукта на выходе;  $G_u$  - расход продукта условный;  $T_u$  температура условная;  $t_{\text{возд}}$  - температура воздуха;

## Заключение

Применение разработанных математических моделей технологических процессов позволяет комплексно оценить влияние основных параметров технологического режима. Применение математических моделей объектов нефтепереработки на основе теории графов актуально для исследований на разработанных моделях метрологических параметров контроля переработки нефти на качество продукта.

## Библиография

1. Вильданов Р.Г., Назаров М.И. Разработка адаптивного нечеткого регулятора температуры в колонне переработки эфирных компонентов в среде MATLAB-SIMULINK // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 05(179). URL: [ej.kubagro.ru/2022/05/pdf/08.pdf](http://ej.kubagro.ru/2022/05/pdf/08.pdf).
2. Вильданов Р.Г., Панфилов В.В., Аслаев Р.Р. Статистические методы управления в производстве // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: [science-education.ru/ru/article/view?id=19590](http://science-education.ru/ru/article/view?id=19590).
3. Гинис Л.А. Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806).
4. Пикула Н.П. Метрология, стандартизация и сертификация. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 185 с.
5. Рутковский А.Л., Матвеева Л.И., Козачек Г.В. Оптимизация коэффициентов передаточной функции, полученной модифицированным методом Симою по экспериментально снятой переходной характеристике // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 3. С. 138-141.
6. Сафаров И.М., Валеев З.Н., Шумаев Т.А. Проектирование автоматизированных систем управления технологическими процессами с применением методов теории графов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5390](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5390).
7. Тугашова Л.Р., Затонский А.В. Исследование качества нефтепродуктов с применением моделей // Химическая физика и мезоскопия. 2019. № 4. С. 551-564.
8. Gary J.H., Handwerk G.E., Kaiser M.J. Petroleum refining: technology and economics. CRC press, 2007. 488 p.
9. Joshi J.B. et al. Petroleum residue upgradation via visbreaking: A review // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2008. Vol. 47. No. 23. P. 8960-8988.
10. Xu X., He X., Ai Q., Qiu R.C. A correlation analysis method for power systems based on random matrix theory // IEEE Transactions on smart grid. 2015. Т. 8. № 4. С. 1811-1820.

---

## The relevance of the development and application of a mathematical model of refinery facilities based on graphs

**Vitalii O. Sologub**

Student,  
Institute of Oil Refining and Petrochemistry  
of the Ufa State Petroleum Technological University,  
453250, 22B Gubkina str., Salavat, Russian Federation;  
e-mail: 690807@mail.ru

**Rauf G. Vil'danov**

Doctor of nauk,  
Professor, Associate Professor, Scientific Supervisor,  
Institute of Oil Refining and Petrochemistry  
of the Ufa State Petroleum Technological University,  
453250, 22B Gubkina str., Salavat, Russian Federation;  
e-mail: vildanov.rauf@yandex.ru

### Abstract

To date, a large number of studies are aimed at the development of new and modernization of existing facilities of the oil refining industry. One of the actual ways of developing oil refining facilities in the field of technology improvement is the forecasting of process indicators. In this article, the graph method is used to model the distillation column of a tar visbreaking unit. The use of the developed mathematical models of technological processes makes it possible to comprehensively assess the influence of the main parameters of the technological regime.

### For citation

Sologub V.O., Vil'danov R.G. (2023) Aktual'nost' razrabotki i primeneniya matematicheskoi modeli ob"ektov neftepererabotki na osnove grafov [The relevance of the development and application of a mathematical model of refinery facilities based on graphs]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 13 (4A), pp. 591-597. DOI: 10.34670/AR.2023.76.32.072

### Keywords

Distillation column, temperature, mathematical model, topological model, graph.

### References

1. Gary J.H., Handwerk G.E., Kaiser M.J. (2007) *Petroleum refining: technology and economics*. CRC press., 488 p.
2. Ginis L.A. (2013) Razvitie instrumentariya kognitivnogo modelirovaniya dlya issledovaniya slozhnykh sistem [Development of cognitive modeling tools for the study of complex systems]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 3. Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1806) [Accessed 16/03/2023].
3. Joshi J.B. et al. (2008) Petroleum residue upgradation via visbreaking: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47 (23), pp. 8960-8988.
4. Pikula N.P. (2010) *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya* [Metrology, standardization and certification]. Tomsk:

---

Publishing House of the Tomsk Polytechnic University.

5. Rutkovskii A.L., Matveeva L.I., Kozachek G.V. (2010) Optimizatsiya koeffitsientov peredatochnoi funktsii, poluchennoi modifitsirovannym metodom Simoyu po eksperimental'no snyatoi perekhodnoi kharakteristike [Optimization of the coefficients of the transfer function obtained by the modified Simoyu method from the experimentally taken transient response]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 6 (3), pp. 138-141.
6. Safarov I.M., Valeev Z.N., Shumaev T.A. (2018) Proektirovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami s primeneniem metodov teorii grafov [Design of automated control systems for technological processes using methods of graph theory]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Inzhenerny Bulletin of the Don], 4. Available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5390](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5390) [Accessed 16/03/2023].
7. Tugashova L.R., Zatonskii A.V. (2019) Issledovanie kachestva nefteproduktov s primeneniem modelei [Investigation of the quality of petroleum products using models]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya* [Chemical Physics and Mezoscopy], 4, pp. 551-564.
8. Vil'danov R.G., Nazarov M.I. (2022) Razrabotka adaptivnogo nechetkogo regul'yatora temperatury v kolonne pererabotki efirnykh komponentov v srede MATLAB-SIMULINK [Development of an adaptive fuzzy temperature controller in the ether components processing column in the MATLAB-SIMULINK environment]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 05(179). Available at: [ej.kubagro.ru/2022/05/pdf/08.pdf](http://ej.kubagro.ru/2022/05/pdf/08.pdf) [Accessed 16/03/2023].
9. Vil'danov R.G., Panfilov V.V., Aslaev R.R. (2015) Statisticheskie metody upravleniya v proizvodstve [Statistical methods of control in production]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 1-1. Available at: [science-education.ru/ru/article/view?id=19590](http://science-education.ru/ru/article/view?id=19590) [Accessed 18/03/2023].
10. Xu X., He X., Ai Q., Qiu R.C. (2015) A correlation analysis method for power systems based on random matrix theory. *IEEE Transactions on smart grid*, 8 (4), pp. 1811-1820.